

**Н.І. БОЛТЯНСЬКА**

# **НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

*Курс лекцій*



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

**Болтянська Н. І.**

# **НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

*Курс лекцій*

для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності  
133 «Галузеве машинобудування»

Мелітополь  
2019

УДК 631.3 – 192 (075)  
Б 79

Автор: доцент Болтянська Н. І.

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради механіко–технологічного  
факультету Таврійського державного агротехнологічного університету  
імені Дмитра Моторного  
(Протокол № 4 від 10.12.2019 )

Рецензенти:

- О. Г. Караєв – д.т.н., доцент кафедри сільськогосподарських машин,  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного;
- В. П. Кувачов – к.т.н., доцент кафедри машиновикористання в  
землеробстві, Таврійський державний  
агротехнологічний університет імені Дмитра  
Моторного.

**Болтянська Н. І.**

**Надійність технологічних систем:** курс лекцій / Н.І. Болтянська. –  
Мелітополь: Люкс, 2019. – 168 с.

У курсі лекцій викладено зміст дисципліни «Надійність технологічних систем». Наведені загальні поняття основи теорії надійності невідновлюваних та відновлюваних виробів; методи аналізу надійності технологічних систем; методи розробки та оптимізації вимог до надійності технологічних систем; методи аналізу характеру і причин виникнення відмов і пошкоджень технологічних систем; моделі надійності невідновлюваних та відновлюваних виробів технологічних систем; показники надійності технологічних систем; методи забезпечення надійності технологічних систем при проектуванні і виробництві та методи контролю надійності технологічних систем в експлуатації.

УДК 631.3 – 192 (075)  
© Н.І. Болтянська, 2019  
© Люкс, 2019

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. Теоретичні засади технології харчових виробництв	5
2. Технологічна лінія як система	24
3. Надійність технологічних систем	52
4. Загальна характеристика надійності як науки	72
5. Сутність відмов технологічних систем	91
6. Показники надійності. Моделі розподілу відмов	107
7. Діагностування та прогнозування технологічного обладнання переробних підприємств	141
ЛІТЕРАТУРА	166

## ВСТУП

Забезпечення надійності технологічних систем є головним фактором підготовленості техніки і обслуговуючого персоналу до виконання заявлених виробничих програм, що відповідають вимогам як високої продуктивності обладнання, так і збільшення рівня багатомасштабного виробництва виробів на основі організації ефективної системи технічного обслуговування і ремонту.

Дана постановка характеризує: 1) стратегічну спрямованість розвитку сучасних технологій харчового виробництва; 2) методи і способи досягнення високої якості виробів, забезпечення надійності і працездатності обладнання.

Метою вивчення дисципліни «Надійність технологічних систем» є отримання знань для забезпечення високого рівня надійності технологічних систем в процесі експлуатації.

Надійність відноситься до числа основних показників якості машини, вона проявляється в часі і відображає зміни, що відбуваються в процесі використання системи, протягом усього життєвого циклу - від створення до утилізації. Надійність - це властивість машини зберігати необхідні показники якості протягом всього періоду її експлуатації.

Методологія вивчення побудована таким чином, що перш за все розглядається рішення єдиного комплексу проблем забезпечення надійності, працездатності і довговічності. Досягнення високого рівня надійності вимагає проведення супутнього діагностування та прогнозування технічного стану обладнання.

Освоєння основ знань з даного курсу лекцій дозволить фахівцеві забезпечувати безперервно високий рівень технічного стану обладнання, підтримувати його в надійному, працездатному стані.

# **ЛЕКЦІЯ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

## **1.1 Технологія як складова економіки і суспільства**

## **1.2 Класифікація технологічних процесів технології харчових виробництв**

## **1.3 Шляхи удосконалення технології харчових виробництв**

### **1.1 Технологія як складова економіки і суспільства**

Технологія є складовою суспільства і забезпечує його споживчими цінностями (потребами), які формує і узагальнює політика, тобто владні структури. Техніка і технологія у розвитку суспільства відіграють суттєву роль, оскільки зміни в технології позначаються на продуктивності праці, що зрештою впливає й на виробничі відносини. Тобто рівень розвитку технології забезпечує певний рівень життєзабезпечення населення (економіка) і рівень взаємовідносин населення з владою (політика). Розвиток економіки має змінний характер, тобто відповідає життєвому циклу біологічних систем (зародження, розвиток, зрілість, смерть).

Технологію розглядають як сукупність методів обробки, виготовлення, зміни стану, властивостей, форми сировини, матеріалу чи напівфабрикату, які використовуються у процесі виробництва для одержання готової продукції. Поняття або термін «технологія» з'явилися наприкінці XVIII початку XIX століття. До цього часу замість терміну «технологія» вживали терміни «ремесло», «діло», «мистецтво» тощо. До появи терміну «техніка» до 1862 року вживали термін «знаряддя» як належність його до виробництва. Технікою стали називати в основному матеріальні носії праці, і цей термін став самостійним.

Таким чином, в сучасному розумінні технологія почала розглядатися як майстерність і наукова дисципліна в середині XIX століття. Цьому значно сприяла поява ряду наукових та

технічних винаходів: удосконалення парового двигуна, винахід двигуна внутрішнього згоряння, дизельного двигуна, широкої серії електродвигунів, холодильників, парових та газових турбін тощо, що справило значний вплив на розвиток технології. Не менш важливим було впровадження наукової системи організації праці, або науково обґрунтованої системи управління виробництвом, родоначальником якої став американський інженер Ф. Тейлор.

Будь-яка технологія розглядається як цілеспрямована діяльність або як сама праця, предмет праці, засоби праці, які економісти називають засобами виробництва. Поєднання праці з предметом і засобами праці складає зміст будь-якого технологічного процесу.

Людство, або цивілізація, було сформовано не владними структурами, а тими, хто створив колесо, сокиру, плуг, двигун, хто знайшов злаки, слідкував за зірками, відкрив залізо, радіохвилі, тощо. Владні структури в залежності від їх відповідності потребам суспільства або сприяли розвитку цивілізації або заважали йому.

Технологія є складовою цивілізації, тобто такого історично конкретного стану суспільства, що характеризується не тільки духовною культурою, а й матеріальними засобами праці і технологією.

Якщо розглядати суспільство системно, то можна визначити його як ієрархічну систему, що складається із складових нижчого рівня.

Як відомо, *під системою розуміють певну множину елементів заданої природи, що мають певну цілісність. За природою розрізняють матеріальні та абстрактні системи. До матеріальних систем* відносять системи неорганічної природи, фізичні, хімічні, геологічні та живі системи – організми, популяції, екосистеми. Особливі класи систем становлять родина, організація. До *соціально-економічних систем* суспільства належать регіони, держава. *Абстрактними системами* вважають гіпотези, теорії, наукові знання, мовні системи, логічні системи тощо.

За походженням системи поділяють на природні, штучні та змішані. **Природні системи** виникають внаслідок природних процесів, **штучні** – створені людиною. З точки зору технології будь-яке підприємство є штучною системою, створеною людиною як засіб для досягнення певної мети або надання певних послуг, виготовлення певного товару із заданими властивостями.

Підприємство складна система, що складається із елементів або підсистем і є соціотехнічною системою, до якої входять техніка (механізми, машини, устаткування, обладнання) та індивідууми і колективи, пов'язані з роботою цієї системи.

**Соціальна система** складно організована упорядкована цілісність, що об'єднує окремих індивідуумів і соціальні спільноти, пов'язані різноманітними зв'язками і взаємовідносинами.

**Економічні системи** це сфери функціонування продуктивних сил і виробничих відносин. Закон товарного виробництва, або закон вартості, є регулятором суспільного виробництва та розподілу суспільних ресурсів. Згідно із законом вартості індивідуальні витрати на виробництво будь-якого товару дорівнюють суспільно необхідним, а при розширенні виробництва досягається прибуток. Згідно із тим же самим законом виробник не може і не має права вибирати: виробляти чи не виробляти товари, знижувати чи не знижувати витрати на виробництво, впроваджувати чи не впроваджувати нову техніку і технологію, поводитись на ринку активно або пасивно. Він повинен виробляти, знижувати витрати, впроваджувати нову техніку і технологію, активізувати свою діяльність на ринку.

Таким чином закони економіки змушують розвивати та удосконалювати техніку і технологію, яка є складовою економіки або економічної системи.

Поняття «система» походить від грецького поняття «складене» і тлумачиться як група різноманітних предметів, створених штучно чи природно таким чином, що вони



утворюють єдине ціле, діють узгоджено і підкоряються певним формам управління (керування).

**Технічна система** визначається як об'єкт, складений із матеріальних тіл (споруд, машин), або як процес і складається з дій (операцій), пов'язаних у систему, яка визначає мету функціонування. **Основними властивостями системи є цілісність, структурність, множинність опису.**

Технологію можна розглядати і як сукупність або систему дій чи процесів, призначених для зміни або утворення нових властивостей (характеристик) будь-якого об'єкта (подрібнення, гранулювання, нагрівання, тощо). Ці дії здійснюються машинами і апаратами. Машина, на відміну від апарата, призначена для перетворення енергії в корисну роботу за допомогою робочих органів.

Якщо будь-яка технічна система удосконалюється досить швидко внаслідок якого-небудь зрушення (відкриття, винахід), то економічні і соціальні системи дуже інерційні, тобто технічні удосконалення впливають на соціальний стан із значним запізненням.

Розвитком технологій можна вважати безперервний процес удосконалення машин, механізмів, приладів, пристроїв у різних галузях промисловості, які спрямовані на полегшення умов праці, підвищення продуктивності, зручності, комфорту тощо.

Революційні зрушення в технології відбуваються не так часто, але вони докорінно змінюють майже всі технологічні процеси і впливають на підвищення продуктивності в усіх галузях світового господарства та на виробництво нових товарів та послуг. У давні часи це були винаходи видобування вогню, колеса, водяного млина, а потім парового двигуна, двигуна внутрішнього згорання, холодильних установок, електричних генераторів, виробництво штучного каучуку тощо. Значний вплив на техніку і технологію виробництва справило удосконалення технології чавуну і сталі. Зрушення в технології дали себе знати при винайденні пороху, фотографії, телеграфу, телефону, залізниці тощо.

У ХХ столітті революційні зрушення відбулись з появою великих електростанцій, автомобілів, виробництва пластичних мас, обчислювальних машин тощо. Запропонована Г. Фордом технологія виробництва автомобілів на конвеєрі була перенесена в інші галузі промисловості.

Можна назвати революційні зрушення і в інших галузях промисловості, які призвели до їх корінного удосконалення. Показовими прикладами в цьому відношенні є застосування дифузійного апарата інженера Роберта (1865 рік) у цукровій промисловості, способу безперервного розливу сталі (винайдено в СРСР, а здійснено вперше в Японії).

Кожна галузь промисловості в Україні, як і в усьому світі, пов'язана з більшістю інших галузей матеріальними та іншими зв'язками. Наприклад, кожна галузь харчової промисловості має безпосередній зв'язок з виробниками сільськогосподарської продукції зерна, фруктів, овочів, м'яса, молока тощо. Але поряд з цим харчова промисловість одержує цілий ряд допоміжних матеріалів тару, синтетичні плівки, полімерні матеріали, луги, кислоти, солі, папір, а також відповідне технологічне устаткування.

Зараз не можна уявити виробництво літака, автомобіля або іншої машини без наявності виробів як машинобудівного профілю (окремі матеріали, деталі, вузли), так і виробів інших галузей промисловості. Якщо розглядати техніку і технологію у світовому масштабі, то зараз неможливо налагодити крупномасштабне високоприбуткове виробництво без надійних міжнародних зв'язків.

У своєму розвитку технологія як наука пройшла чотири етапи або періоди. **На першому, найбільш ранньому етапі** хімічна технологія була збиранням рецептів та описів проведення окремих технологічних операцій без будь-якого строгого обґрунтування причин вибору того чи іншого способу переробки. Наука на цьому етапі мала описовий характер. Вибір технологічних операцій та послідовності їх виконання здійснювали тільки на основі порівняння різних варіантів (XVIII ст.).

**На наступному, другому, етапі** (початок XIX ст.), крім опису методів та технологічних засобів, розвиток технології характеризувався спробами аналізу фізико–хімічних явищ та обґрунтування причин, що визначають вибір технологічного засобу. Наука на цьому етапі мала якісний характер, який дозволяв визначити технологічні процеси на основі якісного аналізу без достатнього кількісного обґрунтування.

**На третьому етапі** розвитку технологія базується на знаннях про одиничні процеси, загальні для багатьох технологічних засобів у різних галузях хімічної та харчової технології. Одиничні процеси узагальнюють фізична хімія та процеси й апарати. Цей період характеризується більш строгим кількісним обґрунтуванням вибору технологічних засобів та режимів. З'явилась можливість розраховувати продуктивність, розміри, режими, потужність та інші характеристики машин і апаратів.

**Третій найважливіший етап** розвитку технології почався тоді, коли були винайденні вакуум–випарні апарати, ректифікаційні колонки, холодильні машини, електричні двигуни, фільтри безперервної дії, промислові способи адсорбції, екстрагування. На початку XX ст. в результаті узагальнення виробничого досвіду виконання окремих технологічних операцій виникла наука про процеси і апарати. У цей же час значним внеском у технологію можна вважати вдосконалення способів одержання низьких температур ( $-185^{\circ}\text{C}$ ), надвисокого тиску (200 МПа), виробництва сплавів, що мають високу хімічну стійкість, механічну міцність тощо.

У зв'язку із суперечністю вимог до машин та апаратів (наприклад, при мінімальних витратах енергії устаткування може мати дуже низьку потужність) їх характеристики на цьому етапі розвитку технології однозначно не визначились, тобто могли бути визначені тільки на основі досвіду та високої кваліфікації проєктантів.

Нарешті, **на четвертому, сучасному, етапі** розвитку технологія як наука використовує не тільки теоретичні основи процесів і апаратів, тобто теорію одиничних процесів, але й

методи теорії систем, теорії оптимізації та математичне моделювання.

Теоретичні основи процесів і апаратів дозволяють визначити кінетичні закономірності, теорія систем дозволяє розглядати кінетичні закономірності на кожній технологічній операції, на кожній технологічній ділянці в сукупності та узгоджувати їх з позицій кінцевої мети функціонування всієї технологічної лінії. Теорія оптимізації дозволяє вибрати оптимальний, тобто найкращий в якомусь розумінні варіант технологічної операції, ділянки, лінії тощо, спираючись на методи математичного моделювання. Сукупність цих методів дозволяє вибрати таке поєднання технологічних операцій, яке забезпечує найменші витрати на одержання продукту заданої якості.

Звідси витікають такі важливі висновки, як те, що при аналізі діючої або при проектуванні нової технологічної лінії необхідні знання не тільки фізико-хімічних основ явищ, які відбуваються в конкретній технології, методів визначення розмірів та режимів роботи процесів і апаратів, але й методів оптимізації, заснованих на математичному моделюванні та використанні обчислювальної техніки.

У зв'язку з широким впровадженням у технологію автоматичних і автоматизованих систем управління виникла необхідність вивчення явищ та одержання кількісної оцінки ще однієї сторони технологічних процесів їх специфічних властивостей як об'єктів управління. Оскільки автоматизація можлива тільки на основі строгої формальної кількісної оцінки перехідних процесів та якості функціонування об'єктів управління, якості продукції, то з'явилась необхідність у розробці методів формалізації перехідних процесів. Це, у свою чергу, вимагає більш глибокого вивчення фізико-хімічних явищ, удосконалення принципів розрахунку процесів і апаратів тощо. Таким чином, широке впровадження автоматизації обумовлює також розвиток і удосконалення чисто технологічних засобів, методів і процесів, тобто сприяє розвитку технології як науки.

Головна мета технології може бути досягнута тільки за наявності кількісної оцінки довершеності процесу та якості продукту.

**Основні загальні завдання технології** полягають у тому, щоб забезпечити:

- найбільш можливо повне вилучення корисної речовини із сировини;
- задані або оптимальні (найкращі) властивості (якість) готового продукту;
- відсутність шкоди довкіллю в процесі виробництва;
- задані або оптимальні витрати енергії і коштів на виготовлення готового продукту;
- можливість управління технологічними процесами найбільш простими засобами;
- визначену або оптимальну надійність функціонування технологічних процесів.

## **1.2 Класифікація технологічних процесів технології харчових виробництв**

Технологічна лінія виробництва будь-яких виробів складається із окремих послідовно здійснюваних технологічних операцій, які виконуються машинами, апаратами та агрегатами. Технологічну операцію, яка здійснюється в машині (апараті, агрегаті) та забезпечує певний технологічний режим, будемо визначати як одиничний процес або як апаратно-процесну одиницю. Синтез технологічної схеми полягає в тому, щоб скласти з існуючих одиничних процесів таке співвідношення, яке забезпечить одержання продукту або напівфабрикату визначеного складу та властивостей з певних видів сировини.

У зв'язку з цим коротко розглянемо класифікацію одиничних технологічних процесів, які використовуються в технології при проектуванні, фізико-хімічні закономірності кожного одиничного процесу, а також загальні принципи вибору схеми технологічного процесу.

## ЛІТЕРАТУРА

Балакирев В.С. Надежность технических и программных средств автоматизации: учеб. пособие / В.С. Балакирев, В.Я. Бадеников. – Ангарск: АТИ, 1994. – 64 с.

Багров, Н. М. Экономические основы технологического развития: учебн. пособ. / [Н. М. Багров, Г. П. Овчарова, В. Ф. Тульверт, Г. А. Трофисов]; под ред. проф. С. А. Уварова. – СПб. : СПбГУЭФ, 2001.

Бондаренко, А. Д. Современная технология: теория и практика / А. Д. Бондаренко. – Киев; Донецк: Высшая школа, 1985. –172 с.

Болтянська Н.І. Зміни техніко-експлуатаційних показників МЕЗ під впливом на них надійності / Н.І. Болтянська // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка: – Вип.89.- Харків: 2009.-С. 106-111.

Болтянська Н.І. Забезпечення високоефективного функціонування технологічного процесу виробництва продукції тваринництва шляхом підвищення рівня надійності техніки/ Н.І. Болтянська // Науковий вісник НУБіП України. Серія Техніка та енергетика АПК. – К, 2018. – Вип. 282, ч.1. – С. 181-192.

Ветошкин А.Г. Надежность и безопасность технических систем / А.Г. Ветошкин, В.И. Марунин. – Пенза, 2002. -129 с.

Грабар І. Г. Основи надійності машин: навч. посібник: рекомендовано МОН України/І.Г. Грабар. - Електрон. текстові дані. - Житомир : ЖІТІ, 1998. - 298 с.

Дзюба Л. Основи надійності машин / Л. Дзюба, Ю. Зима, Ю. Лютий // Львів, «Логос», 2003. – 201 с.

Ермолов Л. С. Основы надежности сельскохозяйственной техники: учебное пособие / Л. С. Ермолов, В. М. Кряжков, В. Е. Черкун. - М. : Колос, 1982. - 271 с.

Зенкін М.А. Методи підвищення надійності та довговічності деталей та вузлів машин легкої промисловості: Підручник. / М.А. Зенкін, Б.Ф. Піпа – К.: КНУДТД, 2004 -264с.

Канарчук В.Є. Надійність машин: Підручник. / В.Є. Канарчук, С.К. Полянський, М.М. Дмитрієв. – К.: Либідь, 2003. – 424 с.

Кряжков В. М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники.- М.: Агропромиздат, 1989.- 334 с.

Нагірний Ю. П. Обґрунтування інженерних рішень : навч. посібник / Ю. П. Нагірний. - К. : Урожай, 1994. - 216 с.

Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення: ДСТУ 2470-94. - К.: Держстандарт України, 1995. – 28 с.

Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95.- К.: Держстандарт України, 1995.–51 с.

Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. / М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін.; За заг. ред. М.І. Черновола. – Кіровоград: ТОВ «КОД», 2010. – 320 с.

Надійність сільськогосподарської техніки / С.Г. Гранкін, В.С. Малахов, М.І. Черновол, В.Ю. Черкун; За ред. В.Ю. Черкуна. – К.: Урожай, 1988.- 208с.

Пучин Е.А. Надежность технических систем / Е.А. Пучин и др.; Под ред. Е.А. Пучина, О.Н. Дидманидзе. – М.: УМЦ Триада, 2005. - 351с.

Сучака Е.В. Надежность технических систем / Под ред. Е.В Сучака, Н.В. Василенко. – Красноярск: МГП «Раско», 2001. – 600 с.

Синопальников В.А. Надежность и диагностика технологических систем / В.А.Синопальников, С.Н.Григорьев. – М.: Высшая школа, 2005. – 343 с.